

# *Laboratório de Ciências Térmicas*

*Determinação do coeficiente de atrito em tubulações*

*por*

*Christian Strobel*

*“Por que tudo o que chicoteio me abandona?”  
- Homer J. Simpson*

## INTRODUÇÃO

A perda de carga representa a conversão, de modo irreversível, de energia mecânica em energia térmica em um dado escoamento. Essa conversão pode ser localizada (devido a uma variedade de acessórios, curvas ou mudanças súbitas de área) ou em amplas áreas (como a que ocorre ao longo de dutos). No caso de uma perda de carga devido a efeitos de atrito no escoamento completamente desenvolvido, o parâmetro mais significativo é o chamado fator de atrito de Darcy ( $f$ ).

## OBJETIVOS

Verificar a influência do diâmetro e da rugosidade de uma tubulação no coeficiente de atrito e, conseqüentemente, na perda de carga.

## DESCRIÇÃO

Neste experimento, será avaliada a perda de carga em dutos circulares, de materiais diferentes (PVC e ferro galvanizado), com diferentes diâmetros. Pretende-se, assim, verificar os efeitos do diâmetro e do material dos dutos sobre o coeficiente de atrito.

Para tanto, são necessários dados sobre a vazão do fluido, bem como a queda de pressão verificada em um dado comprimento do duto. Deve-se, também, avaliar qual o regime de escoamento (laminar, transição ou turbulento) e se o escoamento encontra-se completamente desenvolvido ou não. O regime laminar é obtido para números de Reynolds

menores ou iguais a 2300 para escoamentos internos; a transição ocorre entre 2300 a 3600, onde os efeitos de turbulência começam a ocorrer e o regime turbulento ocorre para Reynolds superiores a 3600.

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} = \frac{\bar{V} D}{\nu} = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} \quad (01)$$

Um escoamento completamente desenvolvido é aceito quando:

$$L \cong 0,06 Re D \cong 140 D \rightarrow \text{Escoamento Laminar} \quad (02a)$$

$$L \cong 80 D \rightarrow \text{Escoamento turbulento} \quad (02b)$$

A queda de pressão está relacionada ao fator de atrito para escoamentos completamente desenvolvidos através da seguinte relação:

$$\frac{\Delta p}{\rho} = f \frac{L \bar{V}^2}{D 2} \quad (03)$$

onde  $\Delta p$  é a variação de pressão,  $f$  é o fator de atrito de Darcy,  $L$  é o comprimento do duto,  $D$  é o diâmetro (interno) do duto e  $\bar{V}$  é a velocidade média do fluido dentro do duto. O fator de atrito de Darcy pode assumir os seguintes valores:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (04)$$

caso o escoamento seja laminar (onde  $Re$  é o número de Reynolds); ou

$$f = 0,25 \left[ \log \left( \frac{e/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2} \quad (05)$$

no caso de escoamento turbulento. A fórmula apresentada é conhecida como equação de Miller e é uma aproximação, com desvio dentro de 1%, do diagrama de Moody. Nessa

fórmula,  $e$  representa a rugosidade absoluta do duto, e deve estar na mesma unidade do diâmetro na Equação 05.

## PROCEDIMENTO

Serão coletados dados sobre a queda de pressão entre dois pontos de diferentes dutos. Alguns parâmetros, contudo, serão mantidos fixos, e são apresentados a seguir:

Diâmetro nominal [in]	Diâmetro interno (PVC) [mm]	Diâmetro interno (ferro galvanizado) [mm]
1/2	17,2	17,6
3/4	21,6	22,2
1	27,3	27,5

- a. Equação para correção da vazão: verificar a equação obtida no experimento de calibração de medidor de vazão;
- b. Comprimento do duto ( $L$ ): 1 m.
  - Anotar vazão
  - Anotar variação da coluna de água do manômetro
  - Corrigir vazão
  - Calcular velocidade média
  - Calcular Reynolds
  - Determinar  $f$  (real)

$$g\Delta h = f_{real} \frac{L \bar{V}^2}{D}$$

- Calcular  $f$  (ideal) pela expressão de Miller, na condição de projeto, utilizando uma rugosidade absoluta, **para tubos novos**:  $e = 1,5 \times 10^{-6}$  m (PVC);  $e = 50 \times 10^{-6}$  m (ferro galvanizado).

- Calcular a rugosidade real utilizando a expressão de Miller com o fator de atrito real.
  - Alterar vazão
  - Repetir o procedimento até completar seis vazões distintas;
  - Após repetir o procedimento para seis vazões distintas, alterar a tubulação e repetir todos os procedimentos, até que as seis tubulações tenham sido analisadas. O total de medições é 36.
  - Realizar uma análise de incerteza para a rugosidade real dos tubos.
  - Para cada tubulação, traçar um gráfico do  $f$  (real) x Reynolds e encontrar uma equação que se ajuste [ $f(\text{real}) = f(\text{Re})$ ]
  - Para cada tubulação, traçar um gráfico do  $f$  (ideal) x Reynolds e encontrar uma equação que se ajuste [ $f(\text{ideal}) = f(\text{Re})$ ]
- c. Aceleração da gravidade ( $g$ ):  $9,8 \text{ m/s}^2$ .
- d. Massa específica da água ( $\rho$ ):  $998 \text{ kg/m}^3$ .
- e. Viscosidade cinemática da água ( $\nu$ ):  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### COLETA DE DADOS

Material: PVC					
$D_n = 1/2 \text{ in}$		$D_n = 3/4 \text{ in}$		$D_n = 1 \text{ in}$	
$\Delta h$ [mm]	$Q$ [l/s]	$\Delta h$ [mm]	$Q$ [l/s]	$\Delta h$ [mm]	$Q$ [l/s]

Material: Ferro galvanizado					
$Dn = 1/2$ in		$Dn = 3/4$ in		$Dn = 1$ in	
$\Delta h$ [mm]	$Q$ [l/s]	$\Delta h$ [mm]	$Q$ [l/s]	$\Delta h$ [mm]	$Q$ [l/s]

### RELATÓRIO A APRESENTAR

Apresentar um relatório completo, contendo:

- Introdução e objetivos.
- Descrição do experimento.
- Tabela de dados coletados.
- Memorial de cálculos para obtenção do fator de atrito.
- A equação de correção para o medidor de vazão deve ser utilizada.
- Valores de rugosidade que permitem com que a equação de Miller represente corretamente os dados experimentais coletados. **Observar que para cada tubo, apenas um valor de rugosidade deve ser apresentado, com a respectiva análise de incerteza.**
- Gráficos para cada tipo de duto:  $f$  versus  $Reynolds$  (utilizando os valores de rugosidade para tubo novo e ajustando o valor da rugosidade para que se adeque aos dados experimentais).

### INFORMAÇÕES GERAIS

- Relatório a ser realizado em grupos de até 3 integrantes.
- O relatório deve ser entregue, impreterivelmente, em duas semanas.**

### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- Fox, R.W.; McDonald, A.T.; Pritchard, P.J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. Editora LTC, 6ª Edição, 2006.